



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

Comparación de la sensibilidad al contraste cromática entre visión de lejos y de cerca en una muestra de población juvenil

Rubén Fernández Fernández

DIRECTORA: Aurora Torrents Gómez;
DIRECTORA: María Sagrario Millán
Departamento de Óptica y Optometría

12 de junio de 2019



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Comparación de la sensibilidad al contraste cromática entre visión de lejos y de cerca en una muestra de población juvenil

RESUMEN EN CASTELLANO

En muchas ocasiones se comete el error de relacionar la calidad visual únicamente con la agudeza visual. Pero está demostrado que no depende únicamente de la agudeza visual del usuario, sino que también la medida de la sensibilidad al contraste es un aspecto fundamental para conocer nuestra calidad visual. Por ello es importante conocer qué es y en que consiste la medida de la sensibilidad al contraste. Sabiendo estos valores de normalidad podremos detectar alteraciones de la función visual de un sujeto.

Este trabajo consiste en evaluar la sensibilidad al contraste cromática a diferentes distancias en una muestra de población juvenil entre 18 y 30 años. Para obtener estos valores hemos utilizado el test VCTS que consiste en una lámina en la que se reproducen de manera impresa franjas con un perfil sinusoidal. Estas medidas las realizamos en diferentes condiciones de iluminación LED: roja, verde, azul y blanca. Hemos realizado la medida a una muestra de 15 varones en distancia cercana y distancia lejana.

Los resultados obtenidos demuestran que los valores de sensibilidad al contraste en condiciones de iluminación LED azul son los más bajos de la prueba. También los valores en visión lejana obtenidos son sorprendentemente más bajos que los de visión cercana. Una de las posibles explicaciones de esto es que el sistema utilizado para simular la visión lejana no sea el adecuado.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Comparación de la sensibilidad al contraste cromática entre visión de lejos y de cerca en una muestra de población juvenil

RESUMEN EN CATALÁN

En moltes ocasions es comet l'error de relacionar únicament la qualitat visual amb l'agudesia visual. Però està demostrat que no depèn únicament d'aquesta sinó que, la sensibilitat al contrast també és un aspecte fonamental per conèixer la nostra qualitat visual. Per aquest motiu, és important conèixer que és i en què consisteix la mesura de la sensibilitat al contrast. Sabent els valors de normalitat podrem detectar alteracions de la funció visual d'un usuari.

Aquest treball consisteix en avaluar la sensibilitat al contrast cromàtica a diferents distàncies a una mostra de població juvenil entre 18 i 30 anys. Per obtenir aquests valors hem utilitzat un test VCTS que consisteix en una làmina en la qual es reproduïxen de manera impresa franges amb un perfil sinusoidal. Aquestes mesures les realitzarem en diferents condicions d'il·luminació LED: vermella, verda, blava i blanca. Hem realitzat les mesures a 15 barons en distància propera i llunyana.

Els resultats obtinguts demostren que en condicions d'il·luminació LED blava són els més baixos de la prova. També, els valors en distància llunyana són sorprenentment més baixos que en visió propera. Una de les possibles explicacions és que el sistema utilitzat per simular la visió llunyana no sigui l'indicat.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Comparación de la sensibilidad al contraste cromática entre visión de lejos y de cerca en una muestra de población juvenil

RESUMEN EN INGLÉS

In many cases, an error is made in relating visual quality only to visual acuity. But it is shown that it does not only depend on the visual acuity of the user, but also the measurement of the sensitivity to the contrast is a fundamental aspect for our visual quality. Thanks to this measure, we can characterize visual function in greater detail, obtaining more information than when we only measure the visual acuity of the subject, such as identifying alterations in visual function.

In this study we have used the VCTS Test. We have evaluated the sensitivity to chromatic contrast at different distances in a sample of young population between 18 and 30 years. To obtain these values we have used the test VCTS consisting of a sheet in which strips with a sinusoidal profile are reproduced in a printed way. These measurements are made in different LED lighting conditions: red, green, blue and white. We have made the measurement to a sample of 15 males in close distance and far distance.

As a conclusion, we have seen that the contrast sensitivity values with blue illumination are lower than the rest. Also the results in near vision are much greater than the results of far vision. One of the possible options is that the sistema which we used to simulate far distance it is not correct.

RESUMEN EXTENSO EN INGLÉS

In many cases, an error is made in relating visual quality only to visual acuity. But it is shown that it does not only depend on the visual acuity of the user, but also the measurement of the sensitivity to the contrast is a fundamental aspect for our visual quality. Thanks to this measure, we can characterize visual function in greater detail, obtaining more information than when we only measure the visual acuity of the subject, such as identifying alterations in visual function.

If an individual needs a lot of contrast to be able to distinguish an object, it will have low sensitivity to contrast and therefore it will have a lower visual quality than an individual that can distinguish objects with low contrast, so it will have a high sensitivity to contrast and therefore, a higher visual quality.

The lighting under which an object is subjected directly affects on its perception. Therefore, it also affects the contrast sensitivity of an object. We will analyze the perception, under different lighting conditions, of the sensitivity to contrast.

We will start by briefly defining the concepts of contrast sensitivity, visual acuity and chromatic vision. Then we will explain the exclusion criteria of the participants and the methodology of the tests. We will discuss the material used for these tests and finally, from the results obtained, a brief discussion.

To be able to define contrast sensitivity we have to introduce a key concept that is spatial vision.

We can describe the spatial vision as the ability of the visual system to detect and analyze changes in luminosity in space. These skills can be realized as the perception of edges or lines. This can easily be found in frequent visual tasks on a day-to-day basis such as reading or face recognition.

The quantification of the quality of human spatial vision has usually been characterized by the minimum size of a high-contrast test that the subject is able to detect or recognize (his visual acuity). But we must bear in mind that only this data can not ensure that all the details of the

stimulus / object can be distinguished, although its size is greater than the corresponding VA of the subject. The contrast is in charge of this.

It is necessary to use simple stimuli from which we can estimate how is the spatial view of more complex stimuli. These stimuli to which we refer will be sinusoidal luminance variations. These are characterized by having a frequency, a contrast, a phase and an orientation. Spatial frequency is the number of sine waves per degree (cycles / degree). In the image you can see a wave with its frequency and its amplitude, following a luminance profile.

When we talk about the visual system, we can determine the modulation function of the visual system transfer in reducing the contrast of a sinusoidal network, maintaining its constant average luminance until reaching the threshold. We can define contrast threshold as the minimum amount of contrast that a subject is able to solve in order to see an object.

Therefore, the definition of contrast sensitivity could be defined as the inverse of the contrast threshold. This measurement is repeated for the different spatial frequencies and a graphic representation of the results is obtained; this is the function of contrast sensitivity.

Obtaining this measure can give us a subjective help to know the visual quality of a subject's eye, since it takes into account both optical and neuronal factors. The measurement of the contrast sensitivity function consists of determining the detection threshold for different spatial frequencies. There are several types of tests to determine the CSF. In this study we have used the VCTS Test. We have evaluated the sensitivity to chromatic contrast at different distances in a sample of young population between 18 and 30 years. These measurements are made in different LED lighting conditions: red, green, blue and white. We have made the measurement to a sample of 15 males in close distance and far distance.

We have annotated the results in an EXCEL sheet using tables, separating the values of each subject individually, the values between far vision and near vision and the values depending on the lighting used.

As a conclusion, we have seen that the contrast sensitivity values with blue illumination are lower than the rest. This can be justified due to the refraction of light passing through the lens, the so-called chromatic aberration.

Finally, what surprises us most is that there are quite significant differences between the two distances. The results in near vision are much greater than the results of far vision.

As we have said before, to take the measurements in "distant position", we have placed a +2.50 D positive lens in front of the subject's eye to simulate the remote point at infinity. It should be noted that the lens does not correspond to the theoretical value it should have (+3.00 D) since the test is placed at 33cm.

We consider several possibilities to explain the cause of the far values being lower than those close by:

One of the possible options is that, when placing a lens in front of the eye of the subject, the image that is formed through it is of poor quality. Either because the lens is dirty or the distance between the eye and the lens is not correct.

Another option is that, as we made the measurements in conditions of distant vision, the subjects had difficulty focusing the test, sometimes even having to approach it. Therefore, we can say that, in general, the process of relaxing accommodation is a problem for the subjects.

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivos generales.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. Marco teórico.....	3
3.1 Sensibilidad al contraste.....	3
3.2 Agudeza visual.....	10
3.3 Visión cromática.....	11
4. Metodología.....	12
5. Resultados.....	14
6. Discusión.....	16
7. Conclusión.....	18
8. Bibliografía.....	20

1. Introducción

En muchas ocasiones se comete el error de relacionar la calidad visual únicamente con la agudeza visual. Pero está demostrado que no depende únicamente de la agudeza visual del usuario, sino que también la medida de la sensibilidad al contraste es un aspecto fundamental para nuestra calidad visual. Gracias a esta medida podemos caracterizar con mayor detalle la función visual, obteniendo más información que cuando solamente medimos la agudeza visual del sujeto, como identificar alteraciones de la función visual.

Si un individuo precisa mucho contraste para poder distinguir un objeto tendrá baja sensibilidad al contraste y por tanto tendrá peor calidad visual que un individuo que si que puede llegar a distinguir objetos con bajo contraste, por lo que este si tendrá una elevada sensibilidad al contraste y por ende una mayor calidad visual.

La iluminación bajo la que esté sometido un objeto afecta de manera directa en su percepción. Por tanto, también afecta a la sensibilidad al contraste de un objeto. Analizaremos la percepción, bajo diferentes condiciones de iluminación, de la sensibilidad al contraste.

Empezaremos definiendo brevemente los conceptos de sensibilidad al contraste, agudeza visual y visión cromática. Después explicaremos los criterios de exclusión de los participantes y la metodología de las pruebas. Comentaremos el material utilizado para dichas pruebas y finalmente a partir de los resultados obtenidos una breve discusión.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la sensibilidad al contraste cromática a diferentes distancias en una muestra de población juvenil entre 18 y 30 años.

Para obtener estos valores hemos utilizado el test VCTS que consiste en una lámina en la que se reproducen de manera impresa franjas con un perfil sinusoidal.

Estas medidas las realizamos en diferentes condiciones de iluminación LED: roja, verde, azul y blanca. Hemos realizado la medida a una muestra de 15 varones en distancia cercana y distancia lejana.

2.2. Objetivos específicos:

- a) Determinar, a partir de una búsqueda bibliográfica en la literatura científica, cuáles son los resultados esperables en la administración de los test citados en la población.
- b) Escoger los 30 sujetos de muestra, según los criterios de inclusión siguientes:
 - a. 15 han de ser hombres y 15 han de ser mujeres.
 - b. Han de tener una edad comprendida entre los 18 y los 30 años.
 - c. Han de llegar a AV=1 tanto en visión de lejos como en visión de cerca, con la mejor corrección.
 - d. No han de presentar ninguna disfunción de la visión binocular.
 - e. No han de presentar ninguna anomalía de la visión cromática.
 - f. Han de estar motivados.

- c) Realizar el montaje experimental en el laboratorio de visión binocular de la FOOT, de forma que el test VISTECH 6000 pueda ser iluminado con un LED azul, uno verde, uno rojo, y uno blanco.
- d) Realizar la toma de medidas a los sujetos de la muestra mediante los test indicados anteriormente, de forma monocular (al ojo de mejor agudeza visual o al ojo dominante).
- e) Analizar los resultados obtenidos

3. Marco teórico

3.1. Sensibilidad al contraste

Podemos describir la visión espacial como la habilidad del sistema visual para detectar y analizar cambios de luminosidad en el espacio. Estas habilidades pueden concretarse como la percepción de bordes o líneas. Esto puede encontrarse fácilmente en tareas visuales frecuentes en el día a día como la lectura o el reconocimiento de caras.

La cuantificación de la calidad de la visión espacial humana se ha caracterizado usualmente por el tamaño mínimo de un test de alto contraste que el sujeto es capaz de detectar o reconocer (su agudeza visual). Pero hay que tener en cuenta de que no sólo con este dato no es posible asegurar que todos los detalles del estímulo/objeto puedan ser distinguidos, aunque su tamaño sea mayor al correspondiente a la AV del sujeto. De esto se encarga el contraste.

Es necesario utilizar estímulos simples a partir de los cuales se pueda estimar como es la visión espacial de estímulos más complejos. Estos estímulos a los cuales nos referimos serán variaciones sinusoidales de luminancia. Estos se caracterizan por tener una frecuencia, un contraste, una fase y una orientación. La frecuencia espacial es el número de ondas sinusoidales por grado (ciclos/grado). En la imagen puede verse una onda con su frecuencia y su amplitud, siguiendo un perfil de luminancia⁽¹⁾.

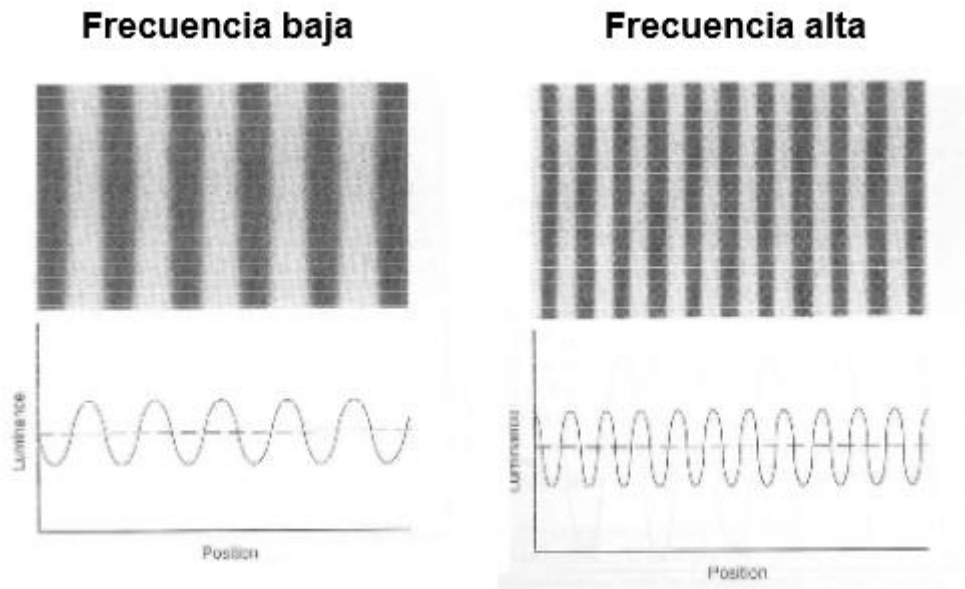


Figura 1: Representación en red sinusoidal y en una gráfica un ejemplo de frecuencia baja y alta ⁽¹⁾.

Contraste y modulación proporcionan como resultado un número adimensional entre 0 o 1. Cuanto mayor sea el contraste o la modulación, mayor es la diferencia de luminancias y mejor se distinguirá el objeto respecto el fondo.

El análisis de Fourier permite descomponer cualquier objeto periódico en una suma de términos sinusoidales con frecuencias crecientes y amplitudes determinadas, es decir, se puede descomponer en frecuencias espaciales más simple o sencillas.



Figura 2: Representación simplificada del análisis de Fourier; descomposición de un objeto en suma de redes sinusoidales ⁽¹⁾

Cuando hablamos del sistema visual podemos determinar la función de modulación de transferencia del sistema visual en ir reduciendo el contraste de una red sinusoidal, manteniendo su luminancia media constante hasta alcanzar el umbral. Podemos definir umbral de contraste como la mínima cantidad de contraste que un sujeto es capaz de resolver para poder ver un objeto.

Por tanto, la definición de sensibilidad al contraste podríamos definirla como la **inversa del umbral de contraste**. Esta medida se repite para las diferentes frecuencias espaciales y se obtiene una representación gráfica de los resultados es la función de la sensibilidad al contraste. En la figura 4 podemos observar la curva de la inversa del umbral al contraste⁽¹⁾.

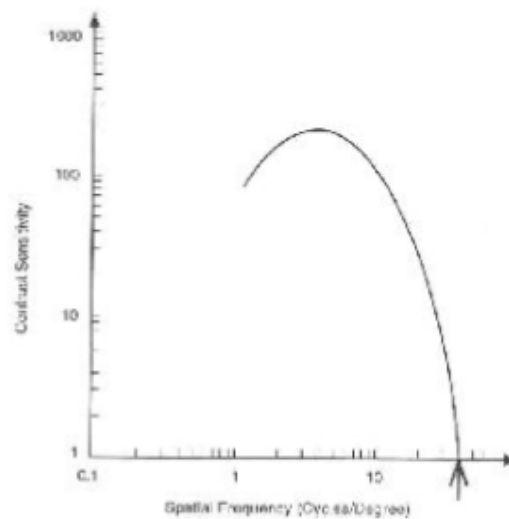


Figura 4: Curva de la inversa del umbral al contraste⁽¹⁾

La obtención de esta medida nos puede dar una ayuda subjetiva de conocer la calidad visual del ojo de un sujeto, puesto que tiene en cuenta tanto como factores ópticos como neuronales.

Existen diversos factores que pueden afectar al resultado de la determinación de la sensibilidad al contraste. Algunos de los más importantes son⁽¹⁾:

- Desenfoque

Es fundamental que al medir la sensibilidad al contraste de un sujeto esté totalmente corregido ya que los defectos refractivos sin corregir afectan a la CSF. En la gráfica que se muestra a la derecha se aprecia la CSF correspondiente a un paciente miope totalmente corregido (línea continua) y el mismo sin gafas (línea discontinua).

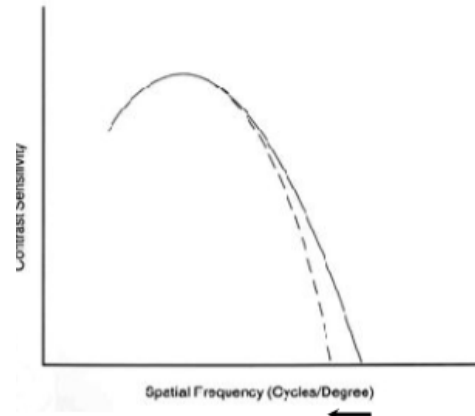


Figura 5: Curva CSF de un sujeto miope corregido y sin corregir⁽¹⁾.

- Difusión intraocular

A esto se refiere principalmente a la pérdida de transparencia de medios como por ejemplo la aparición de cataratas. En un ojo con elevada difusión existe una disminución general de esta función en todas las frecuencias y como consecuencia la disminución de la AV. Esto normalmente ve asociado al fenómeno de deslumbramiento, que se define como la percepción visual creada cuando una luz externa es difundida dentro del ojo creando un velo de luz sobre la superficie retiniana y por tanto reduciendo la calidad de la imagen.

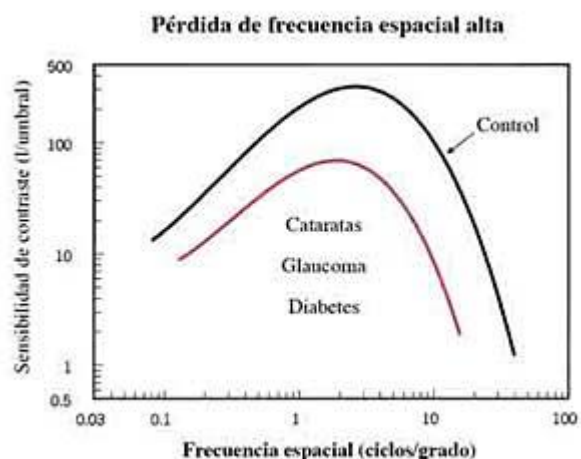


Figura 6: Curva de CSF en diferentes condiciones de difusión intraocular⁽²⁾

- Diámetro pupilar

La CSF depende del diámetro pupilar ya que está afectada por las aberraciones y la difracción. Con un diámetro pupilar 1mm, el sistema se puede considerar libre de aberraciones y es limitado solo por la difracción.

- Edad

A medida que un sujeto avanza en edad pierden sensibilidad al contraste ya que está ligado a la pérdida de transparencia de medios y, por tanto, a la difusión intraocular.

- Luminancia

Por último, la luminancia también es un factor a tener en cuenta en la determinación de CSF, ya que, a mayor luminancia mejor sensibilidad al contraste. Esto se muestra en la figura 5.

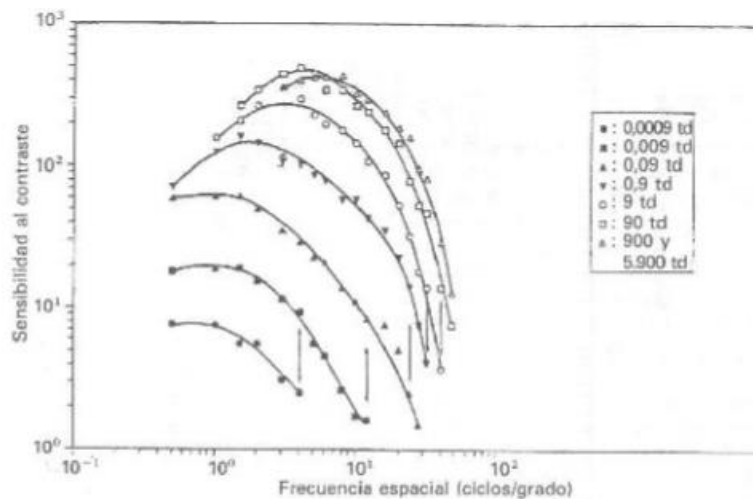


Figura 7: Curva CSF a diferentes valores de luminancia. ⁽¹⁾

Medida de la función de sensibilidad al contraste

La medida de la función de sensibilidad al contraste consiste en determinar el umbral de detección para diferentes frecuencias espaciales. Existen varios tipos de test para determinar la CSF. En este estudio hemos utilizado el Test VCTS.

Algunos de los errores más comunes a la hora de medir la sensibilidad al contraste o la AV en bajo contraste son:

- Utilización de un nivel de iluminación inadecuado, demasiado bajo o no uniforme.
- Errores al ocluir inapropiadamente el ojo no explorado, permitiendo la visión con los dos ojos.
- Empezar por el ojo de mayor AV o no dejar el tiempo suficiente para identificar los estímulos del test⁽⁷⁾.

Test VCTS

Consiste en una lámina en la que se reproducen de manera impresa franjas con un perfil sinusoidal. El test consiste en láminas circulares, que contienen una red sinusoidal, situadas en 5 filas y 9 columnas. En las filas se representan 5 frecuencias espaciales (vertical) que se corresponden a 1.5, 3, 6, 12, y 18 ciclos/grado cubriendo aceptablemente el espectro de frecuencias correspondientes a la visión humana. Para cada nivel de frecuencia, se representa (horizontal) diferentes contrastes que van disminuyendo de izquierda a derecha, en pasos de 0.25 unidades logarítmicas de media. Además, las franjas se representan de diferentes inclinaciones, 15° a izquierda y derecha y vertical⁽⁷⁾.



Figura 8: Test Vistech Contrast Test System ⁽³⁾

En la figura 7 se muestra donde anotaremos los resultados de los 5 diferentes tipos de frecuencias espaciales. Donde el eje de abscisas representa la frecuencia espacial en ciclos por grado y el eje de ordenadas la sensibilidad al contraste.

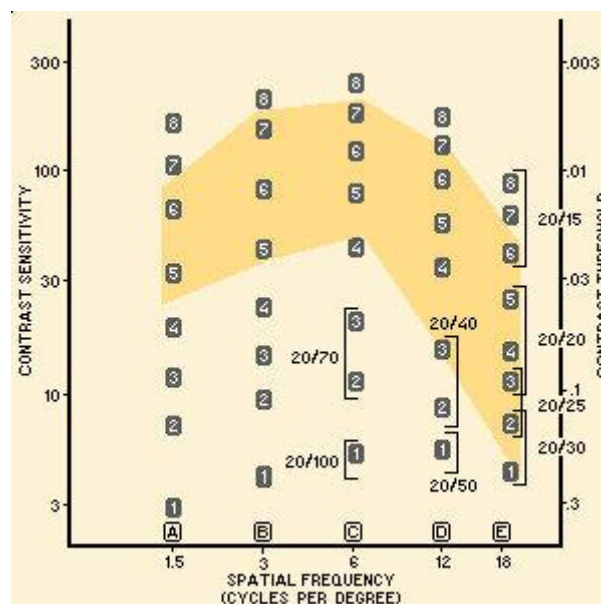


Figura 9: Hoja de resultados Test Vistech ⁽⁴⁾

3.2. Agudeza visual

La agudeza visual determina el detalle más pequeño que puede ser visto con un contraste máximo. Esta se puede cuantificar calculando el ángulo mínimo de resolución que una persona puede llegar a resolver.

Como hemos mencionado anteriormente, la agudeza visual va ligada a la sensibilidad al contraste. Conjuntamente, la sensibilidad al contraste nos aporta una información adicional al estado de la función visual y que mediante la medida de la AV tradicional pueden pasar desapercibidas.

Las frecuencias espaciales bajas están relacionadas con las formas y los valores de las escenas, en cambio, las frecuencias espaciales altas están más relacionadas con los detalles de una escena⁽⁷⁾.

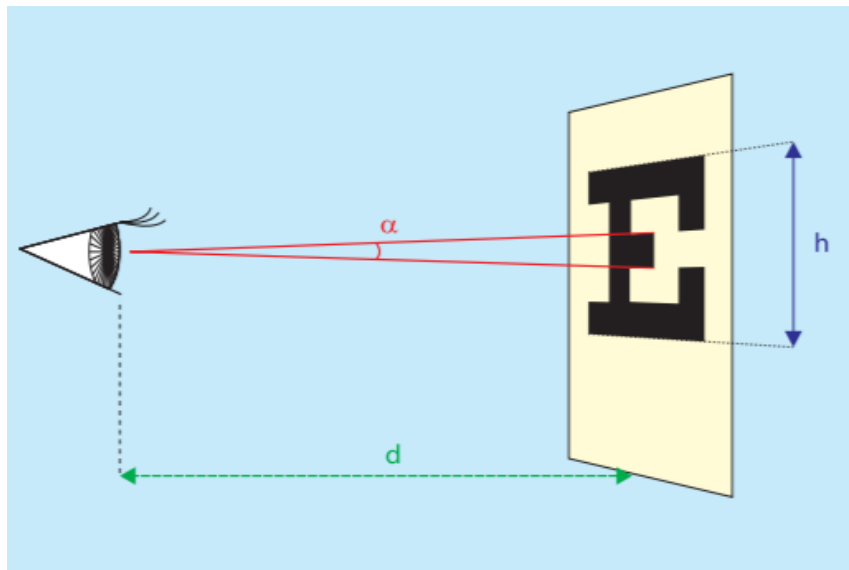


Figura 10: Tamaño angular α en la medida de la AV, donde d es la distancia del sujeto al optotipo y h es la altura de este ⁽⁵⁾

La inversa del valor de este ángulo ($MAR = \alpha$) es el valor de la AV expresada en minutos de arco.

$$AV = \frac{1}{MAR}$$

Ecuación (1)

3.3. Sensibilidad al contraste cromática

Cuando hablamos de visión cromática decimos que el color es una sensación subjetiva del cerebro, pero puede verse afectada por la absorción de las radiaciones espectrales por los fotopigmentos y el circuito neuronal que se encarga del proceso visual.

En un sistema óptico se producen varios tipos de aberraciones a la hora de formar una imagen. Una de las aberraciones más importantes es la aberración cromática.

En el ojo, como cualquier otro sistema óptico, se forman numerosos números de aberraciones y la calidad óptica del ojo se ve limitada por estas.

Aberración cromática

Debido al proceso de refracción, cuando la luz blanca pasa a través de una lente (en este caso el cristalino), esta luz compuesta por muchos colores, la longitud focal de cada color es diferente, por tanto, la imagen para cada color se sitúa en posiciones diferentes. En el caso de las longitudes de onda corta (luz azul) son enfocadas más cerca del cristalino y las longitudes de onda larga (luz roja) más alejadas del cristalino. Cuando utilizamos la luz blanca se sitúa entre medio de ambos valores (entre luz roja y luz azul), situando la imagen más cerca de la retina que en los dos casos anteriores.

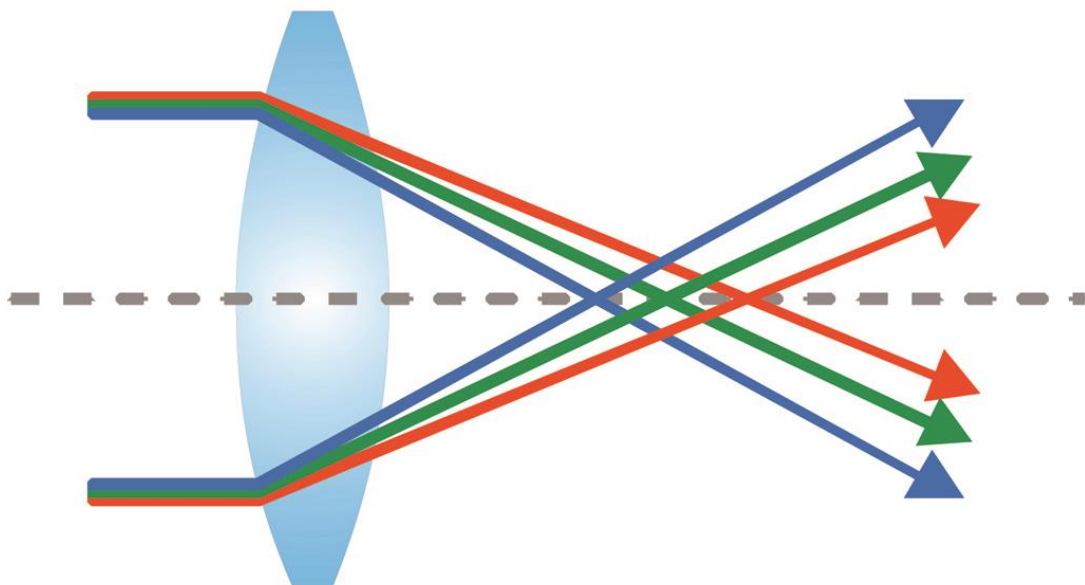


Figura 11: Ejemplo de la aberración cromática en una lente convexa ⁽⁶⁾

Metodología

Pacientes: En este estudio han participado una muestra de 15 sujetos varones de edades entre 18 y 30 años.

Criterios de exclusión: Todos los sujetos han de tener un buen estado de la visión binocular y llegar a AV 1 con la mejor corrección.

Material:

- Leds THORLABS

Luz azul (Model: M455L3 - 455 nm, 900 mW (Min) Mounted LED, 1000 mA)

Luz blanca (Model: MCWHL5 – 425nm, 800mW (Min) Mounted LED, 1000mA)

Luz roja (Model: M625L4 - 625 nm, 700 mW (Min) Mounted LED, 1000 mA)

Luz verde (Model: M530L3 - 530 nm, 350 mW (Min) Mounted LED, 1000 mA)

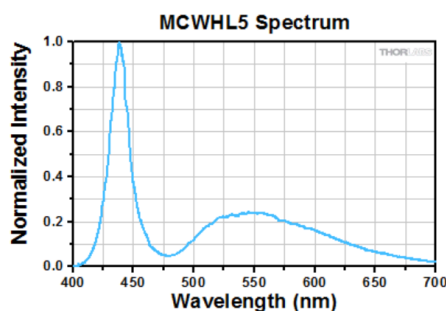


Figura 12: Espectro LED luz blanca⁽⁸⁾

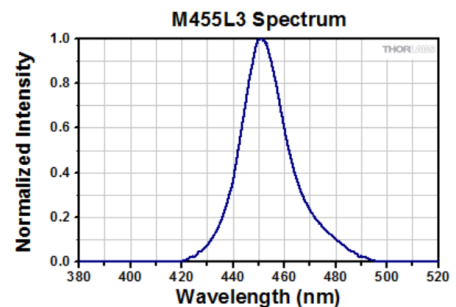


Figura 13: Espectro LED luz azul⁽⁸⁾

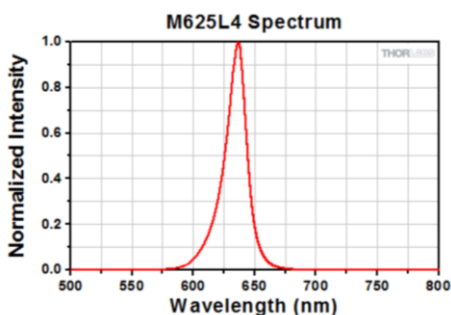


Figura 14: Espectro LED luz roja⁽⁸⁾

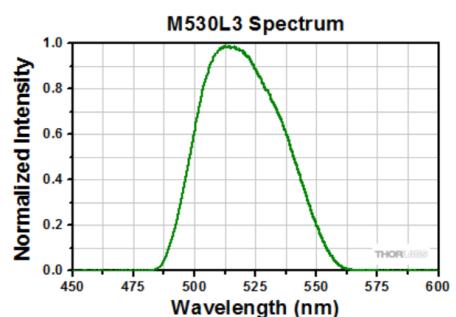


Figura 15: Espectro LED luz verde⁽⁸⁾

- Banco óptico
- Lente positiva de +2,50D
- Ocluser
- Gafa de prueba
- Luxómetro
- Test VCTS
- Test AV
- Mentonera



Figura 16: LEDs azul, rojo, verde y blanco



Figura 17: Gafa de prueba



Figura 18: Toma de medidas a un sujeto.

Calibrado montaje: Misma luminancia todos los LEDS (15cd/m^2)

Procedimiento: El sujeto está colocado, apoyado en una mentonera, a una distancia de 33cm de la tarjeta del test VCTS. A continuación, medimos la sensibilidad al contraste para las diferentes luminosidades cromáticas. Para tomar las medidas del valor de sensibilidad al contraste de lejos colocamos una lente de +2,50D delante del sujeto para simular el punto remoto en el infinito.

Para medirla de cerca no anteponeamos ninguna lente.

Resultados

Los resultados los hemos plasmado en una hoja EXCEL dentro de unas tablas con las siguientes condiciones:

- Separando los valores de cada sujeto individualmente.
- Separando los valores entre visión lejana y visión cercana.
- Separando los valores dependiendo de la iluminación utilizada. Tanto en cerca como en lejos.

Hemos representado gráficamente los valores obtenidos tanto de lejos como de cerca de cada sujeto. Es decir, dos tablas por participante. Donde en el eje de abscisas (x) se representa la frecuencia y en el eje de coordenadas (y) el valor de sensibilidad al contraste.

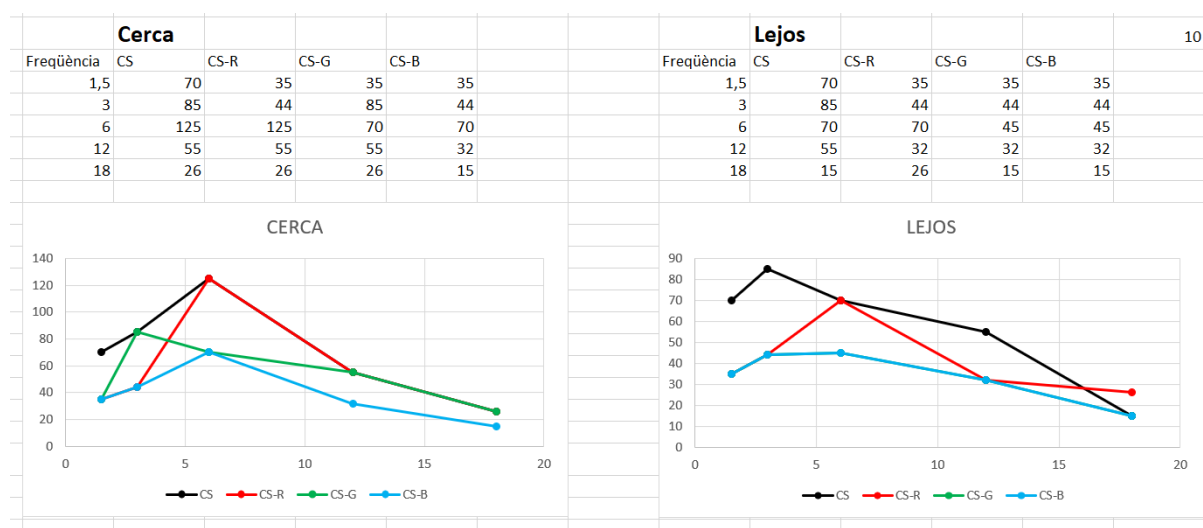


Figura 19: “Resultados de varón con edad 22 años.”

En la figura 15 podemos observar un ejemplo de los resultados de un sujeto en concreto, con sus tablas de valores en los diferentes medios de iluminación tanto de lejos y cerca y sus correspondientes gráficas.

Para poder observar de manera los resultados de los 15 sujetos analizados hemos realizado un promedio de sus resultados. Siguiendo el mismo esquema que el realizado para cada sujeto individual. En la imagen que se muestra a continuación podemos observar los valores medios tanto de lejos como de cerca de los 15 sujetos.

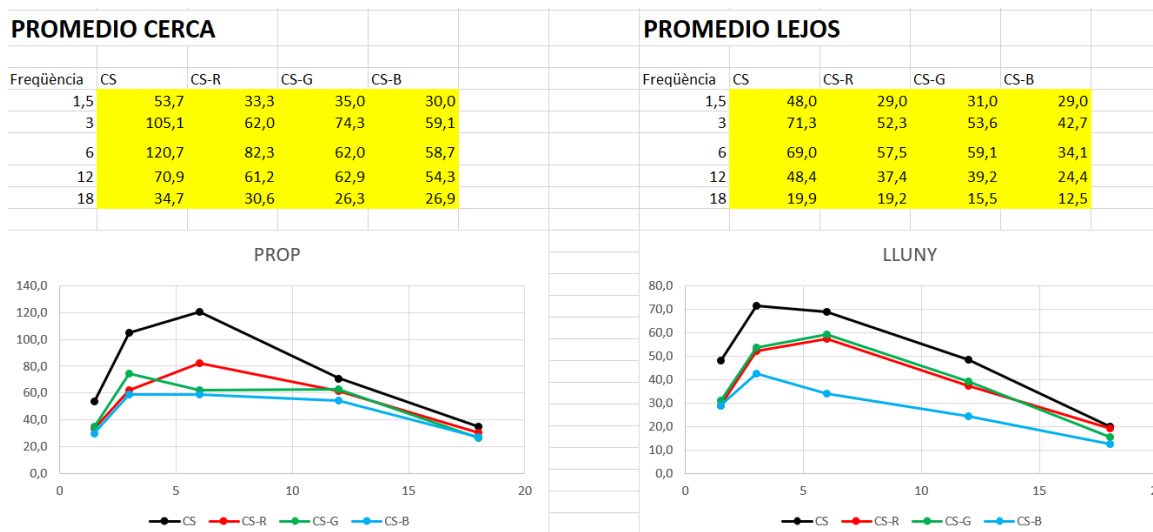
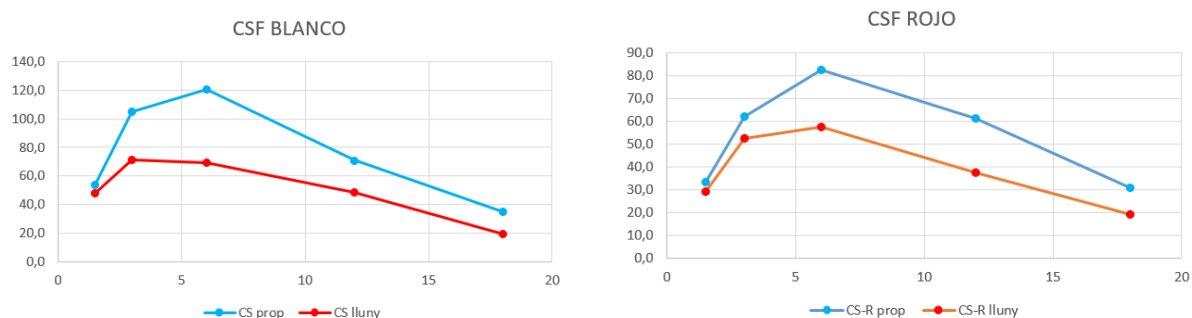


Figura 20: “Ejemplo de los valores medios y sus respectivas gráficas de todos los sujetos”

Otra comparación que hemos querido analizar son los valores de cerca y los valores de lejos en una misma iluminación. A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a cada una de las diferentes iluminaciones utilizadas donde el color azul representa la visión cercana y el color rojo la visión lejana.



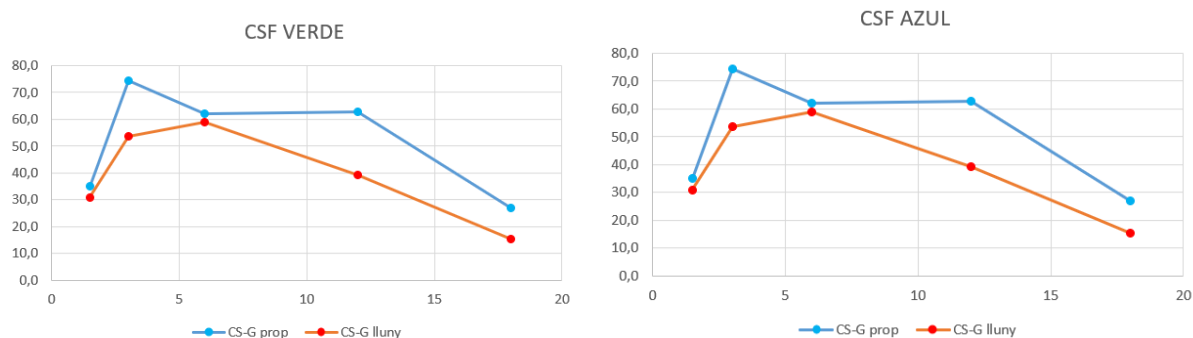


Figura 21: “Representación gráfica de las diferentes iluminaciones comparando entre las dos distancia.”

Discusión

Antes de empezar a sacar conclusiones es necesario comentar que las gráficas tienen forma de parábola positiva. Esto corrobora que las frecuencias máximas y mínimas son las más complicadas de resolver para los sujetos. Esto era de esperar, ya que los valores de normalidad de sensibilidad al contraste es la franja oscura de la hoja de resultados y coincide con los valores obtenidos de nuestros sujetos.

Observando los resultados obtenidos de la muestra de los varones podemos ver diferencias entre las diferentes condiciones de iluminación LED en que se iluminaba el test, tanto de lejos como de cerca.

- Comparación de los valores en visión cercana:

En la frecuencia de 1,5 y 18 encontramos los valores más bajos de la tabla. Más o menos todos los valores están bastante igualados. Igualmente, aunque sean los valores más bajos

siempre entran dentro de los valores determinados como “valores de normalidad”. Destacan los valores de la luz azul que son los más bajos comparados con cualquier otro valor en otra condición de iluminación. También podemos comentar que los valores de luz blanca son los más altos de toda la tabla, teniendo un pico máximo en la frecuencia de 6.

Frecuencia	CS	CS-R	CS-G	CS-B
1,5	53,7	33,3	35,0	30,0
3	105,1	62,0	74,3	59,1
6	120,7	82,3	62,0	58,7
12	70,9	61,2	62,9	54,3
18	34,7	30,6	26,3	26,9

Figura 22: “Tabla de valores medios en visión cercana”

Los valores obtenidos en condiciones de iluminación LED verde son más altos que los valores del color rojo y azul pero más bajos que en condiciones de iluminación LED blanca.

- Comparación de los valores en visión lejana:

En este caso destacan los valores de sensibilidad al contraste en condiciones de iluminación LED azul como los más bajos de la tabla. En este caso también los valores en condiciones de luz blanca son los más altos. La luz roja y verde están bastante cerca la una de la otra, son valores muy similares, encontrándose en un punto medio entre la luz blanca y azul.

Frecuencia	CS	CS-R	CS-G	CS-B
1,5	48,0	29,0	31,0	29,0
3	71,3	52,3	53,6	42,7
6	69,0	57,5	59,1	34,1
12	48,4	37,4	39,2	24,4
18	19,9	19,2	15,5	12,5

Figura 23: “Tabla de valores medios en visión lejana”

- Comparación de cada iluminación en las dos distancias:

En este caso observamos que los valores obtenidos en visión lejana son más bajos con diferencia que los obtenidos en visión cercana. Igual que en los casos anteriores el color que destaca con los valores más bajos es el color azul y se mantiene que los valores más altos son los del color de luz blanca.

Observando los resultados podemos ver que los valores en la distancia cercana son más altos que los de visión lejana, dando a entender que de cerca es más fácil la percepción al contraste.

Conclusión

- Los valores de sensibilidad al contraste con luz azul son los más bajos:

El cristalino es una lente biconvexa que se sitúa entre el iris y el humor vítreo. Este absorbe las longitudes de onda corta. Debido a procesos fisiológicos, como por ejemplo la acción de la luz ultravioleta en las capas del cristalino, a medida que avanza la edad la apariencia transparente de este se va perdiendo.

Debido al proceso de refracción, cuando la luz blanca pasa a través de una lente (en este caso el cristalino), esta luz compuesta por muchos colores, tiene un punto focal por cada color, por tanto, la imagen para cada color se sitúa en posiciones diferentes. En el caso de las longitudes de onda corta (luz azul) son enfocadas más cerca del cristalino y las longitudes de onda larga (luz roja) más alejadas del cristalino. Cuando utilizamos la luz blanca se sitúa entre medio de ambos valores (entre luz roja y luz azul), situando la imagen más cerca de la retina que en los dos casos anteriores.

Este factor puede justificar porque los valores máximos son obtenidos con luz blanca y los valores más bajos son los obtenidos con luz azul y roja.

- Los valores en visión lejana son más bajos que en visión cercana:

Por último, lo que más nos sorprende es que haya diferencias bastante significativas entre las dos distancias. Los resultados en visión de cerca son mucho mayores que los resultados de visión lejana.

Como hemos comentado anteriormente, para tomar las medidas en “posición lejana”, hemos colocado una lente positiva de +2,50 D delante del ojo del sujeto para simular el punto remoto en el infinito. Hay que destacar que, como anteriormente hemos dicho, la lente, no corresponde con el valor teórico que debería tener (+3,00 D) ya que el test está colocado a 33 cm.

Nos planteamos varias posibilidades en cuanto a qué puede ser debido que los valores de lejos sean más bajos que los de cerca:

- Una de las posibles opciones es que, al colocar una lente delante del ojo del sujeto la imagen que se forma a través de ella sea de mala calidad. Ya sea porque la lente esté sucia o la distancia entre el ojo y la lente no sea la correcta.
- Otra de las opciones es que, a medida que hacíamos las medidas en condiciones de visión lejana, a los sujetos les costaba enfocar el test, teniendo incluso que a veces aproximar el test para poder enfocar. Por tanto, podemos decir que, en general, a los sujetos les supone un problema el proceso de relajar la acomodación.

Bibliografía

1. J.M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe, J. Pujol. Óptica Fisiológica: Psicofísica de la Visión 1995: Ed Mc.Graw-Hill Interamericana, Madrid.
2. La función de sensibilidad al contraste [Internet]. Ub.edu. 2019 [cited 5 June 2019]. Available from: http://www.ub.edu/pa1/node/sensibilidad_contraste
3. Parede T, Torricelli A, Mukai A, Vieira Netto M, Bechara S. Quality of vision in refractive and cataract surgery, indirect measurers: review article. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. 2013;76(6):386-390.
4. Pérez Carrasco M. Efecto de un filtro amarillo sobre la función visual mesópica de sujetos emétopes y sujetos miopes operados de cirugía refractiva LASIK. [Doctorado]. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de ciencias Físicas, Departamento de Óptica; 2007.
5. Martín Herranz R, Vecilla Antolínez G. Manual de optometría. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.
6. Aberración cromática [Internet]. Uciencia.uma.es. 2019 [cited 5 June 2019]. Available from: <http://uciencia.uma.es/Banco-de-Imagenes/Matematica-Fisica-y-Quimica/Aberracion-cromatica>
7. Martín Herranz R, Vecilla Antolínez G. Manual de optometría. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2010.
8. Thorlabs.com. (2019). Mounted LEDs. [online] Available at: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=2692 [Accessed 11 Jun. 2019].